

# ПОЧВОВЕДЕНИЕ – НАУКА ХИМИЧЕСКАЯ

**М.К. Захарова\*, Б.Ф. Апарин**

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: 123masha123@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.07.2020; принята к печати 06.09.2020

Экспозиция «Почвоведение – наука химическая», организованная в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева (Санкт-Петербург) в связи с 150-летием открытия периодического закона химических элементов Д.И. Менделеевым, призвана популяризировать знания о почве и привлекать внимание школьников, студентов и молодежи к проблемам сохранения почв как важнейшего природного ресурса. Знакомясь с экспозицией, посетители последовательно открывают для себя новые аспекты знаний о составе, строении, свойствах почвы, ее роли в функционировании биосферы и жизни человека. Экспозиция привлекает внимание к глобальным проблемам современности. Среди них – обеспечение продовольственной и экологической безопасности почв.

*Ключевые слова:* наука, экспозиция, почва, химический закон, химия, почвоведение.

## SOIL SCIENCE IS A CHEMICAL SCIENCE

**M.K. Zakharova\*, B.F. Aparin**

V.V. Dokuchaev Central Soil Museum, Saint Petersburg, Russia

Email: 123masha123@mail.ru

The exhibition “Soil Science is a Chemical Science” is dedicated to the 150<sup>th</sup> anniversary of the discovery of the periodic law of chemical elements by D.I. Mendeleev. It is intended to popularize knowledge about soil and to draw the attention of schoolchildren, students and young people to the problems of conservation of soil as the most important natural resource. Upon attending the exhibition, its visitors become aware, in a systematic way, of novel aspects of the composition, structure, and properties of the soil and its role in the functioning of the biosphere and in human life. The exhibition draws attention to the global problems of our time, including food safety and the environmental safety of soils.

*Keywords:* science, exhibition, soil, chemical law, chemistry, soil science.

Экспозиция «Почвоведение – наука химическая» в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП), призванная популяризировать знания о почве и привлекать внимание школьников, студентов и молодежи к проблемам сохранения почв как важнейшего природного ресурса (рис. 1), была организована в 2019 году в связи с тем, что этот год был провозглашен Генеральной ассамблеей ООН Международным годом Периодической таблицы химических элемен-

тов (International Year of the Periodic Table of Chemical Elements – IYPT 2019)<sup>1</sup>.

Научная концепция экспозиции была разработана научным руководителем ЦМП им. В.В. Докучаева проф. Б.Ф. Апариним совместно с младшим научным сотрудником Музея М.К. Захаровой. В насыщении экспозиции материалами также принимали

<sup>1</sup> <https://www.iypt2019.ru/>; <https://www.iypt2019.ru/events/>



Рис. 1. Открытие экспозиции «Почвоведение – наука химическая»

участие научные сотрудники Музея: Ю.Р. Тимофеева, М.А. Лазарева, Е.В. Мингареева, Е.В. Пятин. Художественное оформление экспозиции выполнил А.Д. Жданов, член Санкт-Петербургского Союза дизайнеров.

Экспозиция имеет модульную структуру. Двигаясь последовательно, посетитель открывает для себя новые аспекты о составе, строении, свойствах почвы, ее роли в функционировании биосферы и жизни человека. Четыре блока экспозиции включают 12 тематических разделов:

1-й блок: темы «Два закона две науки», «От А до Я», «Химический портрет»;

2-й блок: темы «Минералогический музей», «Кровь ландшафта», «Вдох – выдох»;

3-й блок: темы «Таинственная субстанция», «Пропитана жизнью», «Хлеб плодородия»;

4-й блок: темы «Почва – жизнь», «Будем жить», «Посланники прогресса».

Экспозиция оформлена в соответствии с фирменным стилем Центрального музея почвоведения и насыщена различными формами наглядного представления материала. Используются плоские двухмерные формы – графики, схемы, рисунки, фотографии; объемные натурные – пробирки с растворами, минералы на подложке, образцы почв, физическая модель молекулы гумуса, пакетики с удобрениями и другие.

Далее описание экспозиции и ее содержание будут проиллюстрированы ее графическими элементами.

## Экспозиционный блок 1

Экспозиция открывается темой «Два закона две науки». Она раскрывает вклад двух великих русских ученых Дмитрия Ивановича Менделеева и Василия Васильевича Докучаева в развитие естествознания. Д.И. Менделеев, открыв 150 лет назад периодический закон химических элементов, не только заложил фундаментальные основы химии, но на многие десятилетия определил ее развитие. Спустя 15 лет В.В. Докучаев сформулировал закон всеобщей функциональной связи в природе, находящейся в центре учения «о соотношениях между так называемой живой и мертвой природой», и создал новую науку – почвоведение. Он доказал, что почва – это самостоятельное природное тело, качественно отличающееся от всех иных тел природы [1] (рис. 2), и открыл новую форму движения материи – почвообразование [6].

Закон всеобщей функциональной связи в природе (рис. 3) соответствует по рангу периодическому закону химических элементов Д.И. Менделеева. Оба эти закона обладают предсказательной функцией. В 1869 году было известно 63 химических элемента. За последние 150 лет, благодаря периодическому закону, были открыты 55 элементов, благородные газы, природные и искусственно полученные радиоактивные элементы. Закон функциональной связи в природе позволил В.В. Докучаеву создать почвенную карту Северного полушария планеты задолго до первых исследований почв высоких широт (рис. 4).

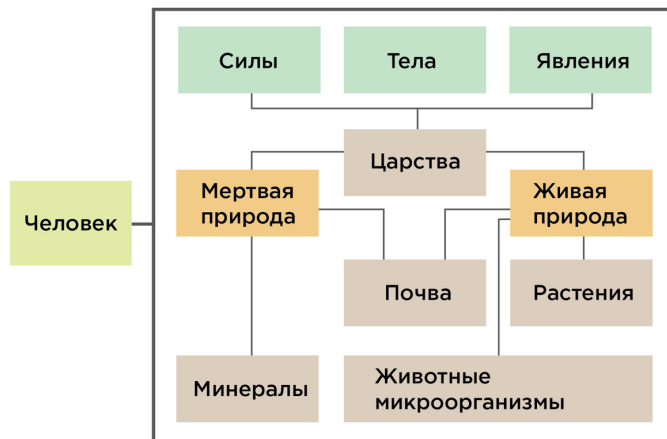


Рис. 2. Закономерные связи между явлениями природы [1]

$$П = f (ГП, Кл, ЖО, Р) * Т$$

П – почва

f – функция

ГП – горная порода

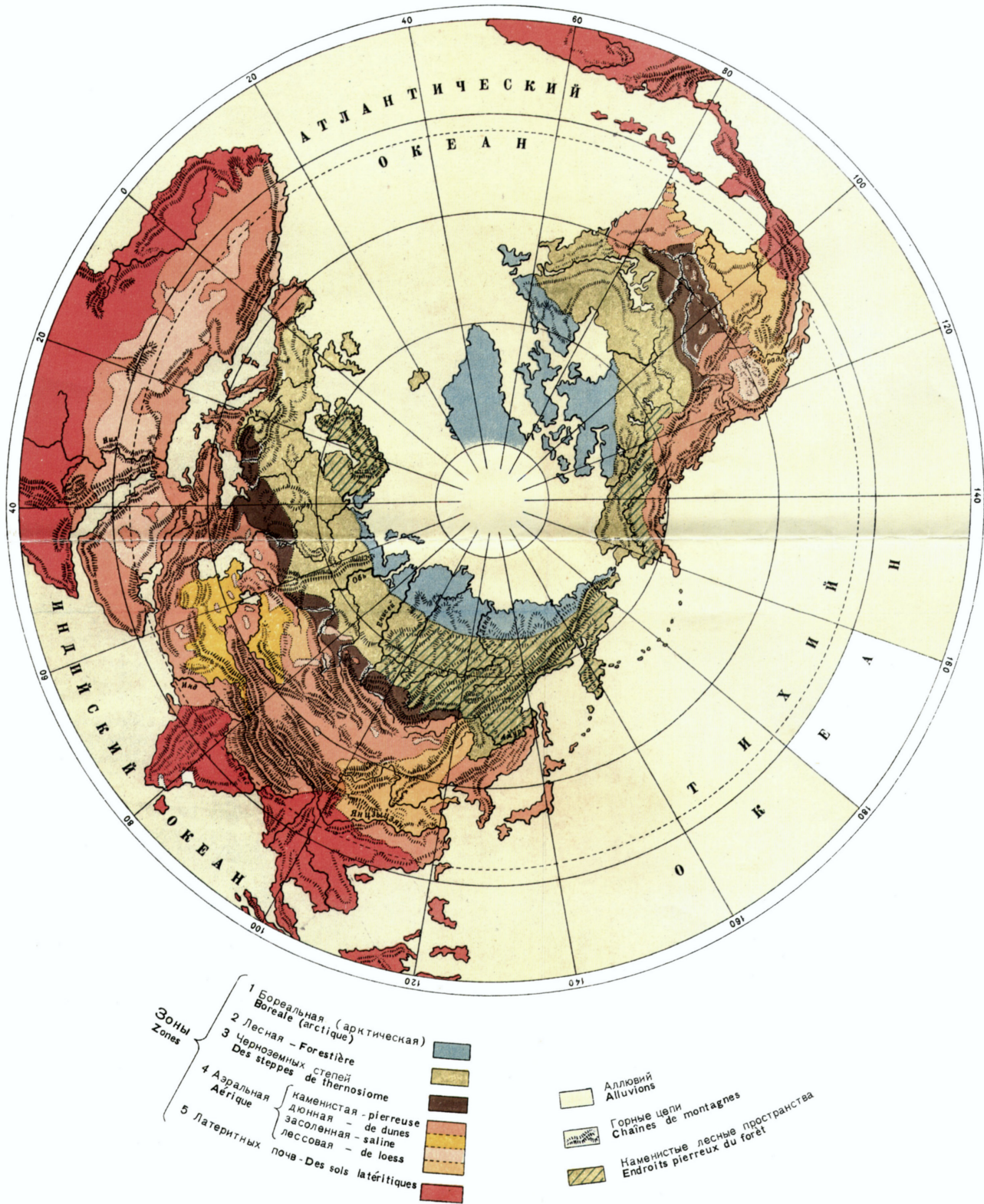
ЖО – живые организмы

Кл – климат

Р – рельеф

Т – время

Рис. 3. Закон всеобщей функциональной связи в природе



Настоящая карта является копией с рукописной карты (с текстом на французском языке), составленной В.В. Докучаевым к Всемирной выставке в Париже в 1900 г.

Рис. 4. Почвенная карта Северного полушария, составленная В.В. Докучаевым в 1899 году [22]

Ярким подтверждением действенности докучаевского закона являются связи между климатическими ареалами и генетическими типами почв (рис. 5), установленные В.Р. Волобуевым [9].

Датой основания науки о почве считается 11 декабря 1883 года – день защиты Докучаевым его научной работы «Русский чернозем». Оппонентами докторской диссертации были Д.И. Менделеев и А.А. Иностранцев. Вот оценка Д.И. Менделеевым научного труда Докучаева: «Это не только вклад, за который Вам скажут спасибо в настоящем и будущем практические люди земли и государственники, но и честь понимания научных основ того строя, в котором живет Рос-

сия». У Д.И. Менделеева отношение к Докучаеву как к равному: «Очень умный и знающий человек, славный товарищ»; «Действуйте спокойно ради любящих Вас и науки». Для Докучаева Д.И. Менделеев – «великий химик и мыслитель», «деятельнейший доброжелатель, дальновидный и мощный друг земледелия», «дорогой и знаменитейший на земле учитель» [1].

К концу XIX века, в значительной мере благодаря работам В.В. Докучаева и Д.И. Менделеева, сформировалось самостоятельное научное направление в почвоведении – химия почв (рис. 6) [1]. Выдающийся вклад в создание фундаментальных основ химии и химического анализа почв принадлежит К.К. Гедройцу [17].

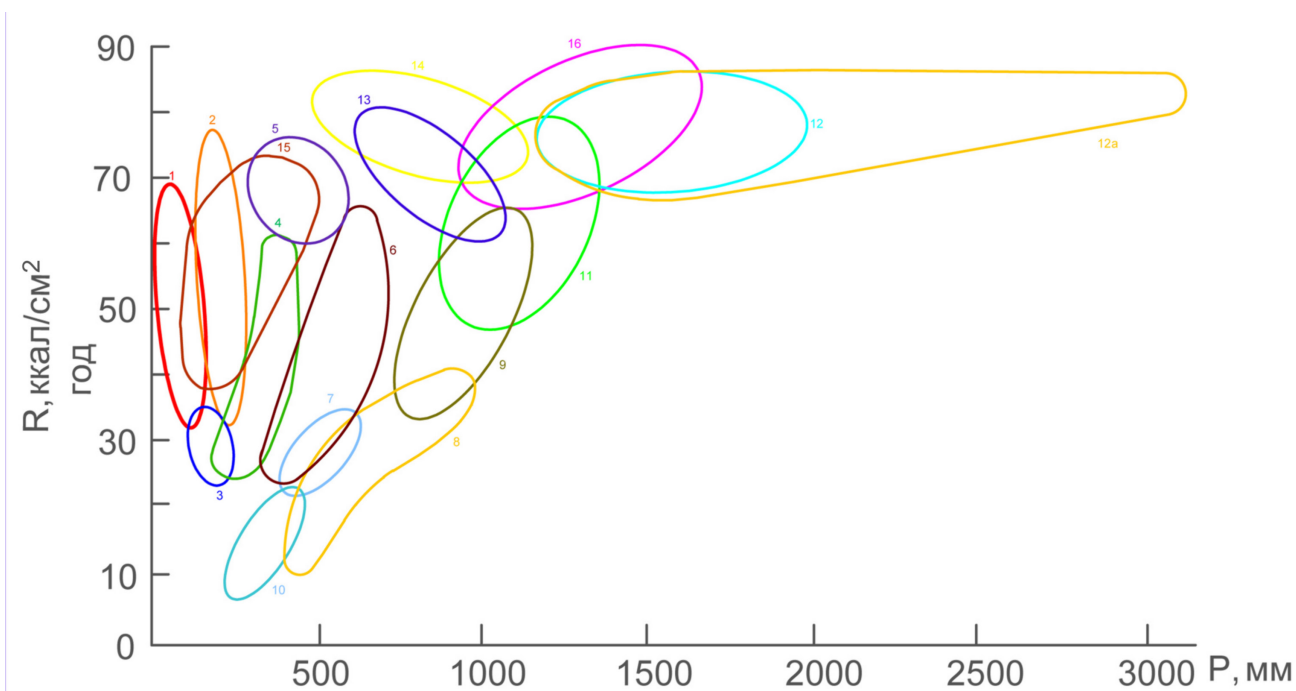


Рис. 5. Зависимость распределения почв на земной поверхности от гидротермических условий [9]

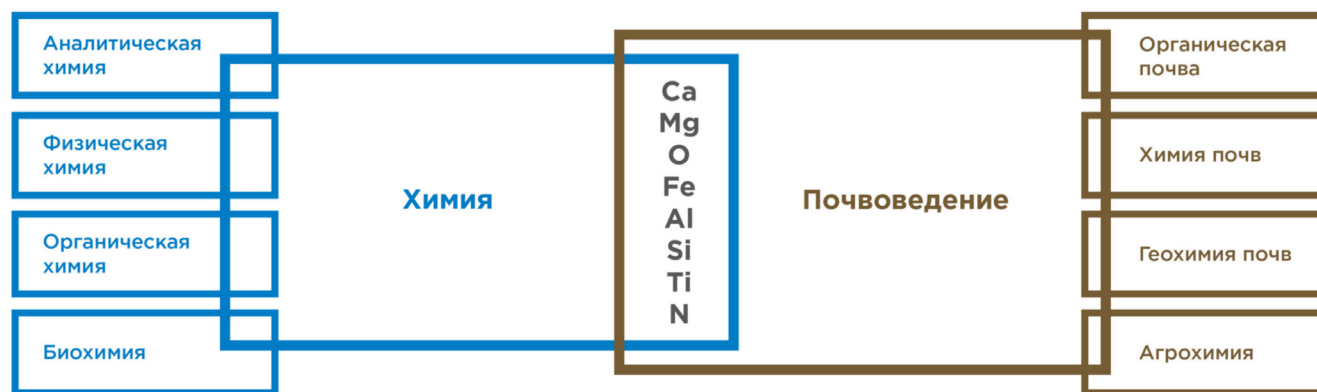


Рис. 6. Связь наук

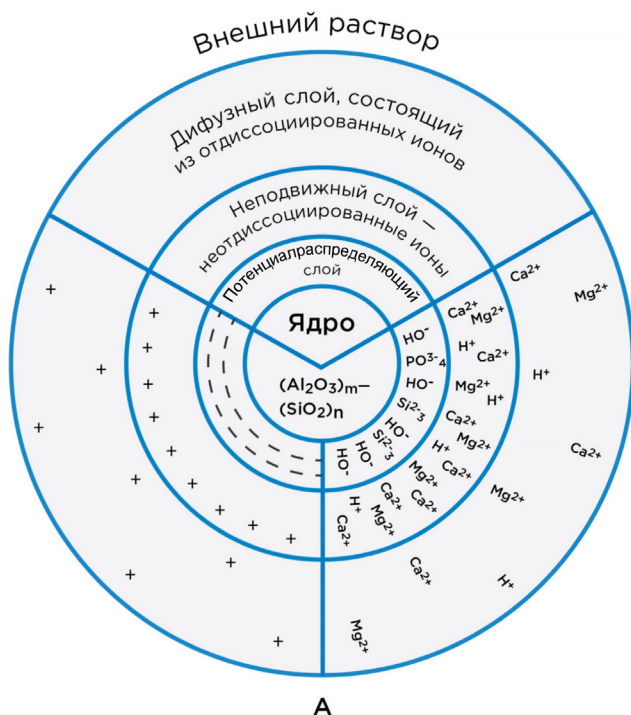
Стенд о связи наук «Два закона две науки» содержит два QR-кода. Если отсканировать их с помощью мобильного телефона, можно посмотреть видеоролик на платформе YouTube о том, как пользоваться таблицей Менделеева, и пройти тест из 10 вопросов на ее знание.

Тема «От А до Я» посвящена химическим элементам в почвах различного генезиса. Разнообразные профили, размещенные на фоне таблицы периодического закона, дают ключ к раскрытию колоссального разнообразия элементов в почве. Химические элементы в профилях находятся в разных формах: в составе органического вещества, кристаллической

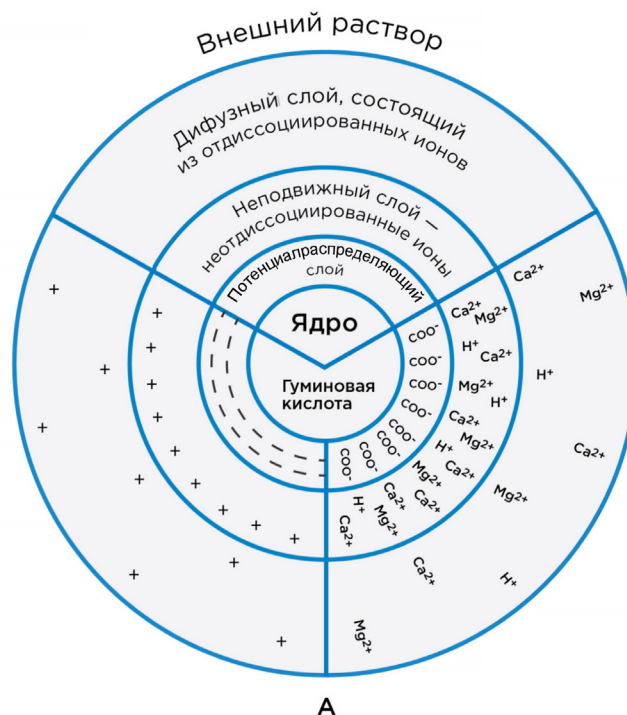
решетке первичных и вторичных минералов, в органоминеральных соединениях, новообразованиях, в ионной форме – в почвенных растворах или в составе почвенного поглощающего комплекса. Иллюстрацией различных форм химических элементов, присутствующих в почвах (рис. 7), являются минералы: кварц ( $\text{SiO}_2$ ), пирит ( $\text{FeS}_2$ ), каолинит ( $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ); растворы (катионы:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , анионы:  $\text{HCO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ); газы (молекулы:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ) и органические вещества (C, H, O, N; Ca, S, K, P). Завершается экспозиция схемами строения минеральной и органической коллоидных частиц (рис. 8).



Рис. 7. Формы химических элементов, присутствующих в почвах



А Минеральная коллоидная частица



А Органическая коллоидная частица

Рис. 8. Строение почвенно-поглощающего комплекса [12]

Большое число химических элементов – первая особенность почв. Вторая состоит в высоком содержании углерода, входящего в состав органических соединений, и кремния, что связано с влиянием живых организмов на почвообразующие породы. Третья особенность почв заключается в значительном диапазоне колебаний концентраций химических элементов.

В почве содержатся практически все элементы таблицы Менделеева. В ней преобладают ( $\Sigma > 99\%$ ): O, Si, Fe, Ca, Mg, Al, C, K, Na, Ti, Mn, N, P, S. Элементы Ba, Sb, B, Rb, Cu, V, Cr, Ni, Co, Li, Mo, Se и др. содержатся в макроколичествах, в сумме до 1% [18]. Для демонстрации содержания элементов в почве и сравнения с содержанием в литосфере и золе растений в экспозиции приведена таблица А.П. Виноградова (табл. 1).

Литосфера и почвы имеют преимущественно схожий химический состав. При этом в составе почв содержится значительно больше углерода и азота. Это связано с их биологическим накоплением в составе органических веществ. Несколько больше в почвах, по сравнению с литосферой, содержится кислорода, водорода, кремния и меньше – алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия и других металлов. В результате процессов почвообразования в минеральных почвах относительно накапливается кремний, углерод, азот, фосфор, калий и другие органические элементы.

Табл. 1  
Среднее содержание некоторых элементов в биосфере (мг/кг) по А.П. Виноградову [5]

Элемент	Литосфера	Почва	Растения (зола)
<b>B</b>	12	10	400
<b>F</b>	660	200	10
<b>Na</b>	25000	6300	20000
<b>Mg</b>	18700	6300	70000
<b>P</b>	930	800	70000
<b>S</b>	470	850	50000
<b>Ti</b>	4500	4600	1000
<b>Cr</b>	83	200	250
<b>Mn</b>	1000	850	750
<b>Cu</b>	47	20	200
<b>Zn</b>	85	50	900
<b>1</b>	0,4	5,0	50

В почвах протекают очень сложные химические процессы (гумификация, оподзоливание, оглеение, осолодение и другие). В результате этих процессов при различном сочетании факторов почвообразования (горные породы, климат, рельеф, живые организмы и время) формируются почвы с различным химическим составом и свойствами. На планете преобладают (57%) кислые (pH = 4–6) сиалитные и алитизированные (типоморфные элементы H, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) почвы. Доля слабощелочных и нейтральных (pH = 7–8) сиалитных (SiO<sub>2</sub>) почв составляет 30% [20]. На рис. 9 даны примеры почв различного химического состава и свойств, а также растительных ассоциаций, в которых они формируются.

В экспозиции представлены: глеезем сфагнового ельника, желтозем чайной плантации, коричневая почва сухих субтропиков, краснозем влажного тропического леса, торфяная почва болота, чернозем степи и подзол сосняка брусничного. Сизая окраска почв связана с переувлажнением и присутствием закисных форм железа, желтая – с накоплением в почве гидратированных оксидов железа и минерала лимонита, а красная –

негидратированных. Коричневая окраска почв связана с высоким содержанием оксидов железа, бурая – с накоплением слабо разложившегося органического вещества, черная – с аккумуляцией гуминовых кислот, связанных с кальцием. Белый цвет почвенных горизонтов объясняется относительным накоплением кварца, снятием пленок железа с первичных минералов.

При описании цвета почв пользуются шкалой Манселла. Экспозиция содержит интерактивный элемент: две цветовые палетки этой шкалы и два образца почвы разного цвета. Посетителю предлагается приложить образец почвы к наиболее подходящему участку шкалы и самостоятельно определить формулу точного цвета почвы.

«Химический портрет» каждой конкретной почвы можно описать, если знать, как изменяются с глубиной ее химические показатели. На экспозиционном стенде приведены наиболее распространенные методы исследования основных параметров почв: реакция среды (pH) – потенциометрический метод, емкость катионного обмена (ЕКО) – метод Бобко-Аскинази, насыщенность основаниями (BS) – метод Каппена,

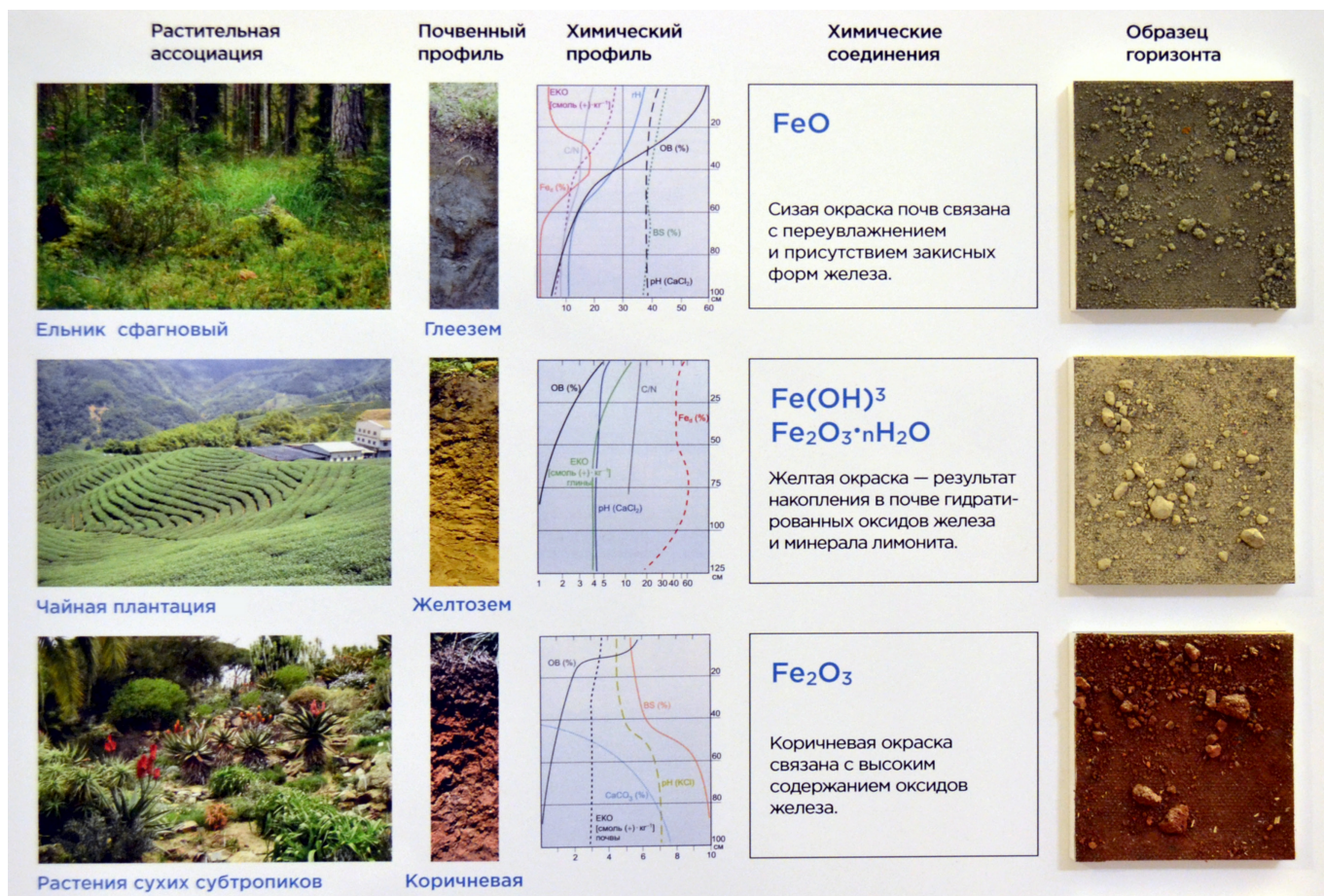


Рис. 9. «Химический портрет» почв (фрагмент). (Показаны виды химических соединений, в наибольшей степени обуславливающих окраску почв)

содержание органического вещества ( $C_{\text{орг}}$ ) – метод Тюрина, содержание азота (N) – метод Кьельдаля, фосфора (P) – метод Чирикова, несиликатного железа (Fed) – метод Мера-Джексона, аморфного железа ( $Fe_a$ ) – метод Тамма [10].

### ЭКСПОЗИЦИОННЫЙ БЛОК 2

Почва – это четырехфазная (-компонентная) система. Второй блок экспозиции знакомит посетителя с составляющими ее твердой, жидкой, газообразной фазами. Твердая фаза почвы представлена минеральной матрицей – рыхлым пористым телом из первичных и вторичных минералов (скелета почвы).

Почва является своего рода «минералогическим музеем». Чтобы увидеть разнообразие минералов, необходимо изготовить очень тонкие срезы почвы – шлифы, освободить первичные минералы от покрывающих их пленок из глинистых минералов, гумуса и оксидов железа (рис. 10). Минералы – это структурированные комбинации химических элементов. В большинстве почв преобладают кварц, полевые шпаты, плагиоклаз, слюды, каолинит, монтмориллонит, смешаннослойные глинистые минералы. На экспозиции представлены некоторые минералы, их химические и структурные формулы: апатит ( $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl,OH)$ ), лазурит ( $Na[AlSi_3O_8]SO_4$ ), халькопирит ( $CuFeS_2$ ), гранат ( $R^{2+}_3R^{3+}_2[SiO_4]_3$ ), биотит ( $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, F]_2$ ), ильменит ( $FeTiO_3$ ) (рис. 11).

Химические элементы высвобождаются из кристаллических решеток минералов в результате процессов почвообразования. На стенде приведены примеры трансформации минералов: мусковит после лесного пожара, разрушение оливина в гумусовом горизонте, разрушение кварца в гумусово-эллювиальном горизонте, разрушение плагиоклаза в метаморфическом горизонте, гиббситизированный полевой шпат, глинисто-гумусовая кутана. Изучить эти процессы позволяют современные методы исследования горных пород и минералов: рентгеноструктурный анализ (прибор – диффрактометр, результат – рентгенограмма смеси минералов), термический анализ (прибор – дериватограф, результат – термограмма глинистых минералов). Рассмотреть минеральный шлиф можно под микроскопом.

Поровое пространство минеральной матрицы почвы занимают находящиеся в антагонистических отношениях вода и воздух. Чем больше в почве содержится воды, тем меньше воздуха. От их соотношений зависят окислительно-восстановительные процессы, которые играют важную роль в формировании «химического портрета» почвы.

По образному выражению В.В. Докучаева, почвенная влага – это своего рода кровь ландшафта [5]. Почвенные капилляры и водотоки образуют единую кровеносную систему ландшафта (рис. 12).

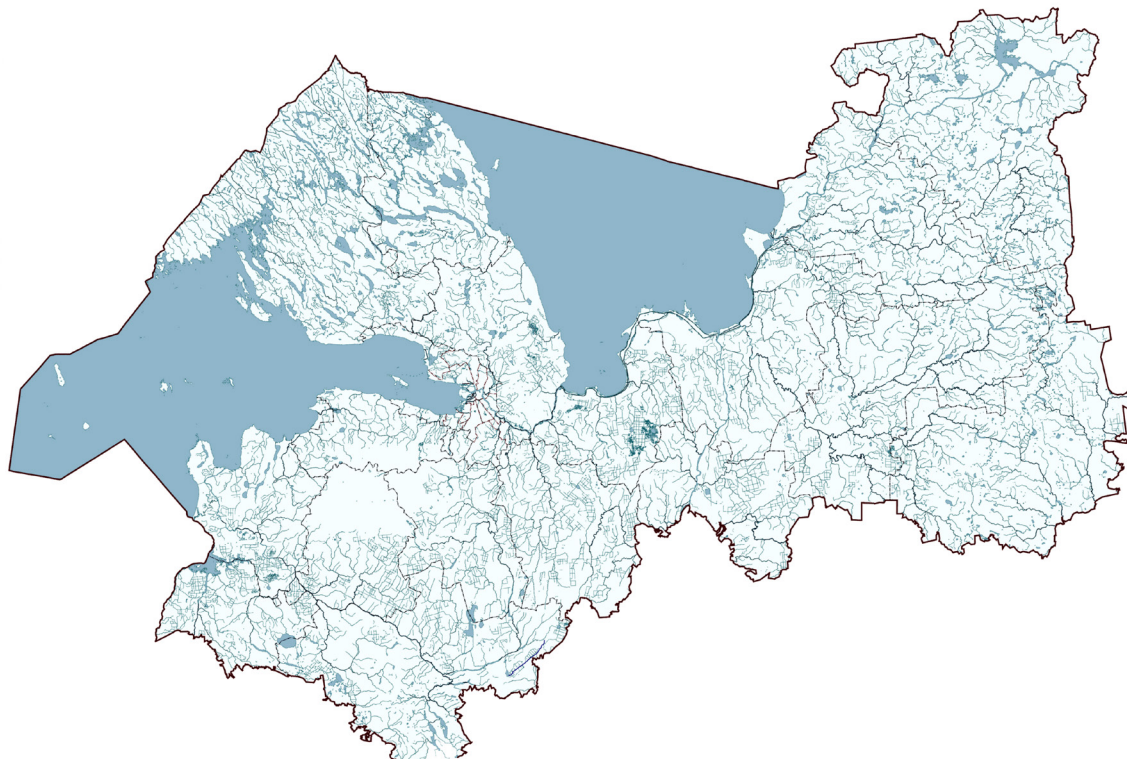


Рис. 10. «Минералогический музей» почв





**Рис. 11.** Минералы в почвах и их структурные формулы



**Рис. 12.** Карта речной сети Ленинградской области<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Отчет по НИР «Выявить закономерности изменения ресурсного потенциала почв крупного агропромышленного региона (Ленинградской области) в результате естественной эволюции и антропогенного воздействия». ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, 2018.

Почвенный раствор, подобно крови, двигаясь по почвенным капиллярам, доставляет разнообразные химические элементы их основным потребителям (растениям, микроорганизмам, беспозвоночным и позвоночным животным). На рис. 13 для сравнения представлены две круговые диаграммы химического состава почвенных растворов подзолистой почвы и чернозема и три вертикальные диаграммы химического состава водной вытяжки из почв – бурой почвы, такыра и солонца. Они показывают разнообразие химического состава жидкой фазы почв различных типов.

Культурные растения очень чувствительны к реакции почвенных растворов, которая изменяется в широком диапазоне pH: от 3–4 в подзолистых почвах до 8–9 в каштановых, достигая максимума (10–11) в солонцах и содовых солончаках.

Почва, являясь глобальным звеном влагооборота, поглощает атмосферные осадки, отдавая часть из них поверхностным и грунтовым водам (рис. 14).

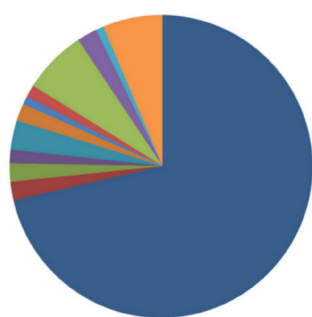
Почвенная влага (12%) является частью поверхностной и атмосферной воды. В свою очередь, поверхностная и атмосферная составляет 1% общих запасов пресной воды. Всего же на долю пресной приходится лишь 3% общего объема воды на планеты.

Тема «Вдох – Выдох» посвящена газовой составляющей почвы. Почвенный воздух – смесь газов, находящаяся в постоянном взаимодействии с атмосферой. Его состав и содержание связаны с жизнедеятельностью растений, животных, микроорганизмов, обменом с жидкой, твердой фазами и органическими веществами почвы, а также с газами, поступающими из глубоких слоев литосферы (эманация газов). Диаграмма среднего состава почвенного воздуха представлена на рис. 15.

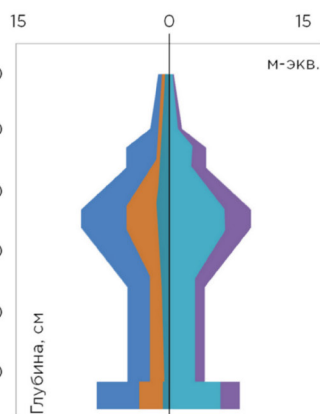
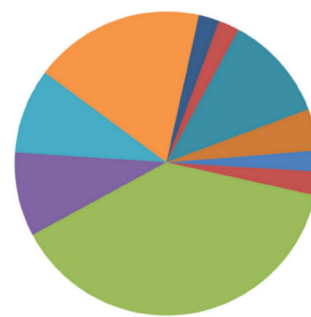
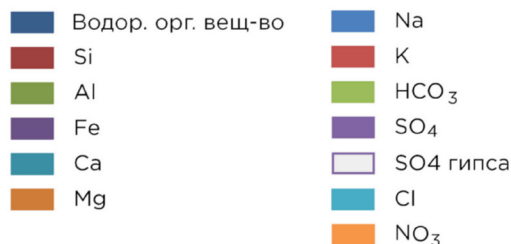
В процессе своеобразного «вдоха» почва поглощает из прилегающих слоев атмосферы кислород ( $O_2$ ) и небольшое количество углекислого газа ( $CO_2$ ), а в процессе «выдоха» выделяет углекислый газ ( $CO_2$ ),

### Подзолистая почва

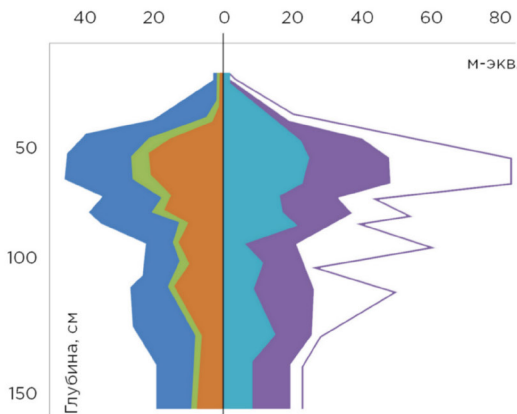
### Чернозем



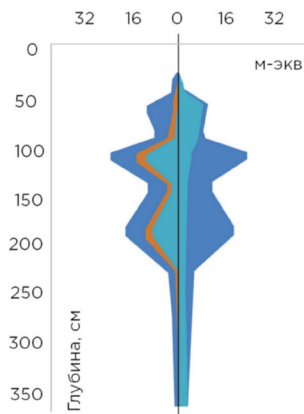
#### Водорастворимое вещество почвы



Бурая почва



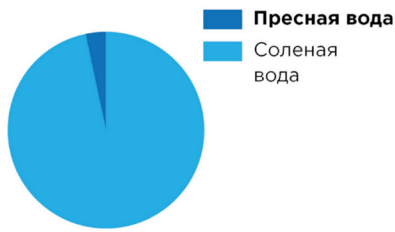
Такыр



Солонец

Рис. 13. Химический состав некоторых почвенных растворов

Вся вода



Пресная вода



Поверхностная и атмосферная

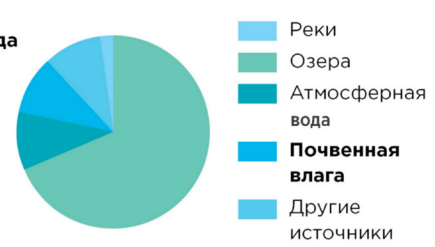


Рис. 14. Место почвенной влаги в глобальном распределении воды



Рис. 15. Усредненный состав почвенного воздуха

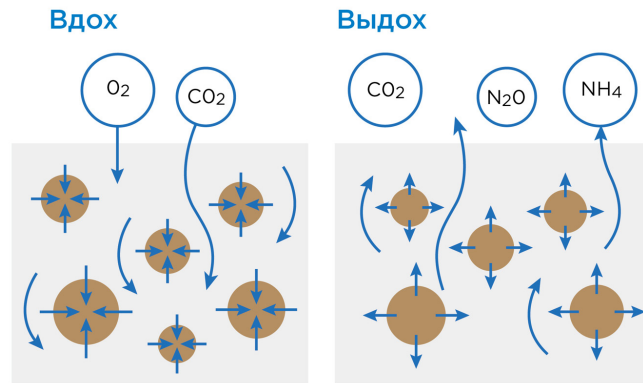


Рис. 16. Дыхание почвы



Рис. 17. Относительный вклад почв в глобальную эмиссию парниковых газов

оксид азота ( $N_2O$ ), аммиак ( $NH_3$ ), метан ( $CH_4$ ), сероводород ( $H_2S$ ) и другие газы (рис. 16). Концентрация  $O_2$  и  $CO_2$  в почвах может изменяться в очень широком диапазоне:  $O_2$  – от 0,05 до 21%,  $CO_2$  – от 0,03 до 20,0%. Основные потребители кислорода и продуценты углекислого газа в почве – корни растений, микроорганизмы и почвенные животные. При содержании кислорода менее 15–17% у растений наблюдаются признаки кислородного голодания.

Современный состав атмосферы в значительной мере является результатом дыхания почв в бесконечных циклах почвообразования на разных этапах геологической истории [5].

Вклад почв в глобальную эмиссию углекислого газа составляет 33%, в эмиссию метана – также 33%, в эмиссию оксида азота – 73% [19] (рис. 17). Среди почв лидеры по эмиссии метана – почвы торфяных болот и рисовых плантаций.

Удельная эмиссия углекислого газа с поверхности почвы для территории России представлена на карте (рис. 18).

По меткому выражению В.И. Вернадского, ученика В.В. Докучаева, почва пропитана жизнью. В словах ученого заложено понимание сущности почвы как биокосного тела – единства живой и неживой ма-

терии. Докучаев говорил: «Попробуйте вырезать из целинной древней степи кубик почвы, увидите вы в нем больше корней, трав, ходов жучков, личинок, чем земли. Все это бурлит, сверлит, точит, роет почву, и получается несравнимая ни с чем губка». Население почвы чрезвычайно разнообразно (рис. 19, 20). В здоровой почве обитают позвоночные животные, дождевые черви, нематоды, клещи, насекомые, сотни видов грибов, тысячи видов бактерий и актиномицетов. Ее обитатели образуют биопедоценоз (устойчивые сообщества) со своими характерными особенностями взаимоотношений в каждом типе почв.

Основу многих почвенных процессов составляют органо-минеральные взаимодействия. Большую роль в них играет сообщество микроорганизмов. Подсчитано, что в одной чайной ложке здоровой почвы живых организмов больше, чем людей на планете Земля (рис. 21).

Исследование метагенома почв является актуальным и перспективным направлением не только для науки о почве, но и для естествознания в целом. Для наглядного восприятия приведена упрощенная схема исследования микробиома почв и получаемый результат (метагеном чернозема и микробиом гумусовых горизонтов естественных и городских почв) (рис. 22).

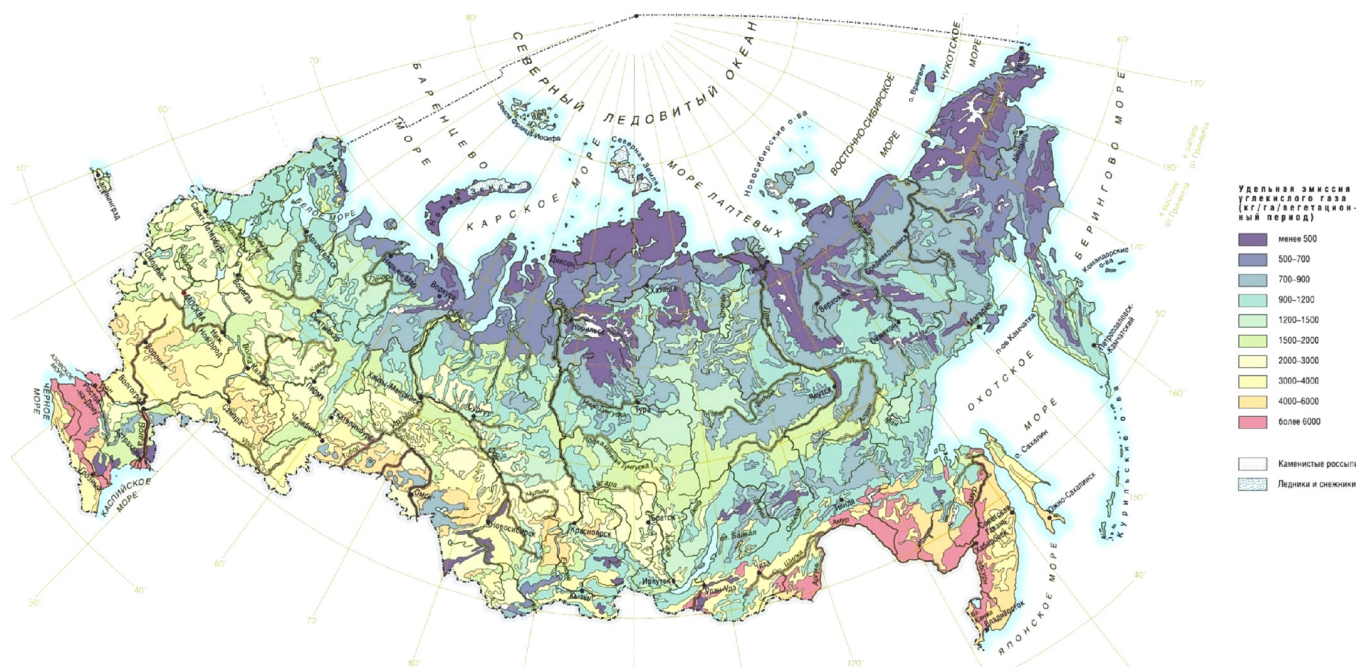


Рис. 18. Эмиссия  $CO_2$  почвенным покровом [22]

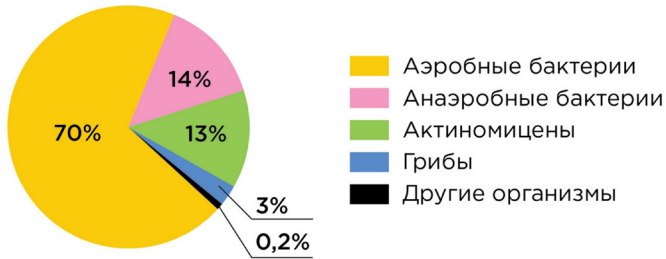


Рис. 19. Количество живых компонентов в 1 г почвы

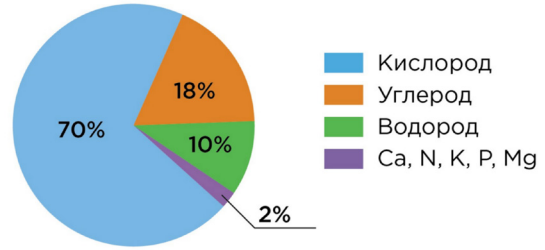


Рис. 20. Соотношение химических элементов в живых организмах

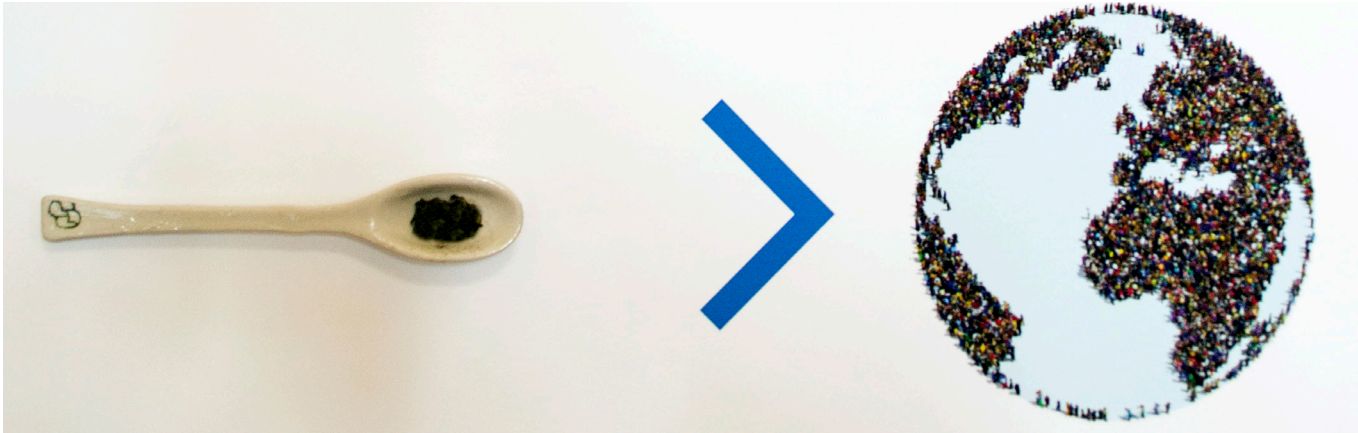


Рис. 21. «Население» здоровой почвы

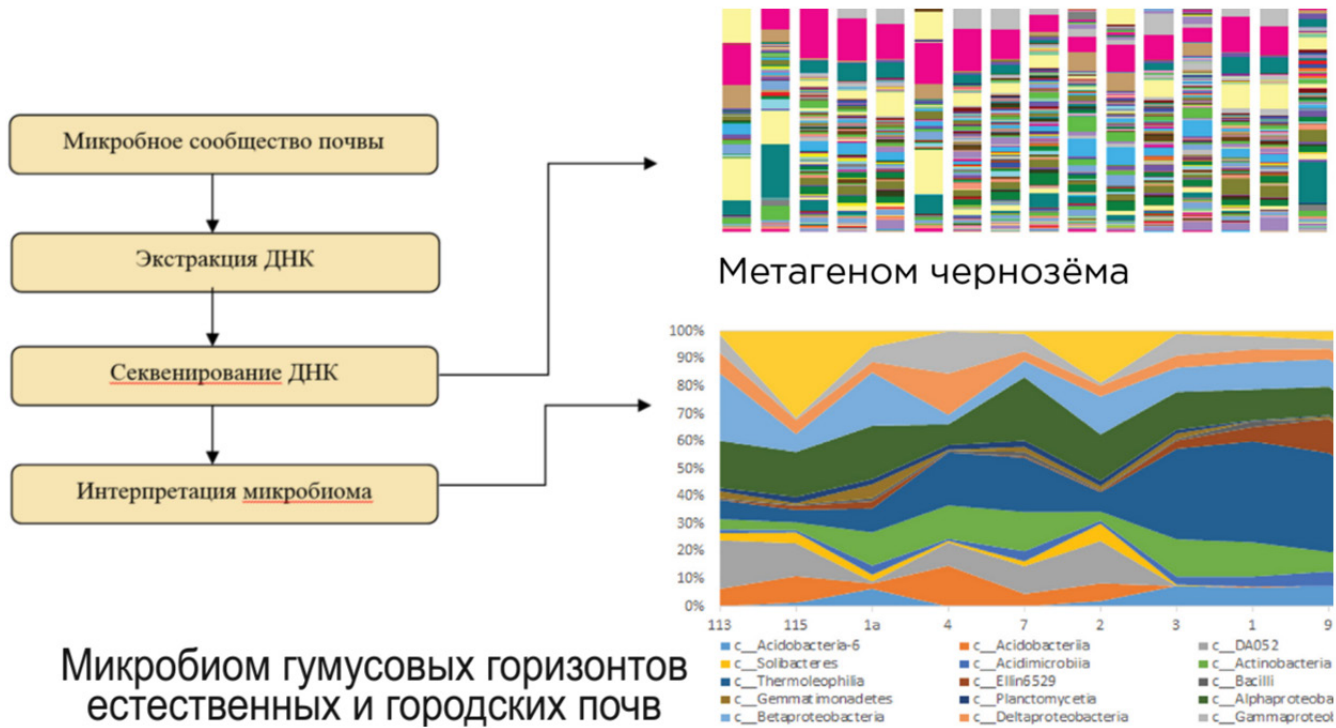


Рис. 22. Исследование микробиома почвы

### Экспозиционный блок 3

Почвенный гумус (главный показатель богатства и плодородия почвы) по причине своей сложной организации и недостаточной изученности представлен на экспозиции как «Таинственная субстанция». Роль гумуса в жизни биосферы настолько многогранна и значима, что ученые выделяют особую гумусовую оболочку планеты – гумосферу [16]. С гумусом связаны разнообразные функции почв: аккумуляция энергии и элементов питания растений, регулирование теплового режима, формирование почвенной структуры и улучшение водно-физических свойств почвы, биопротекторная и физиологическая функции [21]. Что мы знаем о гумусе? Это самый сложный продукт почвообразования, совокупность живой биомассы и органических остатков растений, животных, микроорганизмов, продуктов их метаболизма и специфических новообразованных органических веществ почвы [16]. Гумус состоит из трех групп химических веществ: гуминовых кислот, фульвокислот и гуминов. Гумины представляют собой органоминеральные соединения, очень устойчивые к микробному разложению, а также к действию кислот и щелочей. Какие еще возможности таит в себе эта «таинственная субстанция», ученым еще предстоит раскрыть.

Гуминовые кислоты содержат 46–62% углерода (С), 3–6% азота (N), 3–5% водорода (H) и 32–38% кислорода (O). В составе фульвокислот углерода больше – 45–50%, азота – 3,0–4,5%, водорода – 3–5%. Гуминовые и фульвокислоты практически всегда содержат серу (до 1,2%), фосфор (десятки и сотни долей процента) и катионы различных металлов [18].

Молекулярное строение гумуса очень сложное. На рис. 23 в узлах объемной модели заключены химические элементы (углерод, кремний, сера, азот, кислород, фосфор, водород, металлы).

Гумус представляет собой совокупность всех органических соединений, находящихся в почве, кроме входящих в состав живых организмов и органических остатков, сохранивших анатомическое строение. На рис. 24 приведены типы органического вещества почвы в натурном виде: гумусовый горизонт, лесная подстилка, торф, перегнойный горизонт.

Почвы обеспечены гумусом в разной степени (рис. 25). Самая богатая гумусом почва – чернозем. По Докучаеву, чернозем для России дороже всякой нефти, всякого каменного угля, дороже золотых и железных руд; в нем – вековечное неистошимое русское богатство.

### Экспозиционный блок 4

Все глобальные проблемы современности (энергетическая, сохранение биоразнообразия, качества воды и др.) в той или иной мере взаимосвязаны с состоянием почв и их использованием. Наиболее острая проблема, стоящая в настоящий момент перед человечеством, – обеспечение продовольственной безопасности.

Чтобы накормить растущее население планеты продовольствием (рис. 26), к 2050 году потребуется удвоить и даже утроить производство сельскохозяйственной продукции [3, 7].

В сельскохозяйственных растениях, содержится более 70 химических элементов. Углерод, водород и кислород поступают в растения в основном из атмосферы, все остальные элементы – из почвы. На разных стадиях роста культурные растения предъявляют различные требования к содержанию химических элементов в почвах (табл. 2).

Негативное влияние на состояние растения оказывает не только недостаток, но и избыток химических элементов.

Нехватка азота проявляется в обмельчении листьев. Они становятся узкими, теряя насыщенную зеленую окраску. На бледно-зеленых молодых листьях появляются оранжевые и красные точки. Листья желтеют, опадают раньше времени. При избытке азота листва приобретает темно-зеленую окраску. Растения начинают буйно расти, но стебли у них мягкие, цветков образуется мало. Часто наблюдается хлороз, появляются коричневые некротические пятна, концы листьев скручиваются [11].

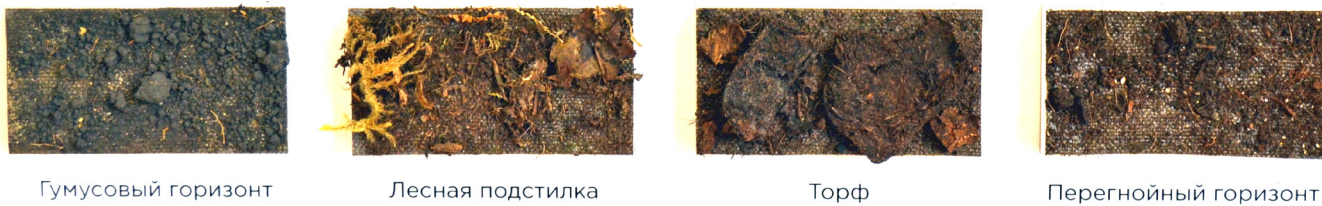
При недостатке фосфора листья растений мельчают, становятся узкими, тусклого темно-зеленого цвета, с красным, пурпурным или бронзовым отливом. Стебли, черешки и жилки листа также приобретают лиловый цвет. Цветение и созревание плодов задерживается, рост побегов замедляется, они искривляются и слабеют. У растений, получивших избыток фосфора, листья мельчают, тускнеют, сворачиваются и покрываются наростами. Стебли растений твердеют [11].

Симптомы недостатка калия проявляются побледнением листьев (окраска тусклая, голубовато-зеленая), листья становятся сморщенными, иногда курчавыми. Листья желтеют, начиная с верхушки, но прожилки остаются зелеными. Постепенно листья желтеют полностью и приобретают красновато-фиолетовый цвет. Растения становятся низкорослыми, побеги вырастают тонкие и слабые. *Избыток калия* вызывает задержку в развитии растения. Листья приобретают светло-зеленую окраску, на них появляются пятна. Сначала рост листьев замедляется, затем они увядают и опадают [11].

Почва, обеспечивая растения питательными веществами, истощается. Для восполнения запасов необходимо использовать удобрения (рис. 27). В разделе «Хлеб плодородия» представлены основные виды удобрений в сухой, жидкой и минеральной форме: хлористый калий (KCl), микроэлементное удобрение (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, Co, Ni, Cl), зола (CaCO<sub>3</sub>, NaCl, CaSiO<sub>3</sub>, NaPO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, MgCO<sub>3</sub>, K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, MgSiO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>), гуматы (комплексное удобрение), суперфосфат ((CaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> × H<sub>2</sub>O + 2CaSO<sub>4</sub> × 2H<sub>2</sub>O), аммиачная селитра (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), мел (CaCO<sub>3</sub>).



**Рис. 23.** Молекула гумуса. Структурная модель



**Рис. 24.** Типы органического вещества почвы



**Рис. 25.** Карта содержания гумуса в верхних горизонтах почв России [22]

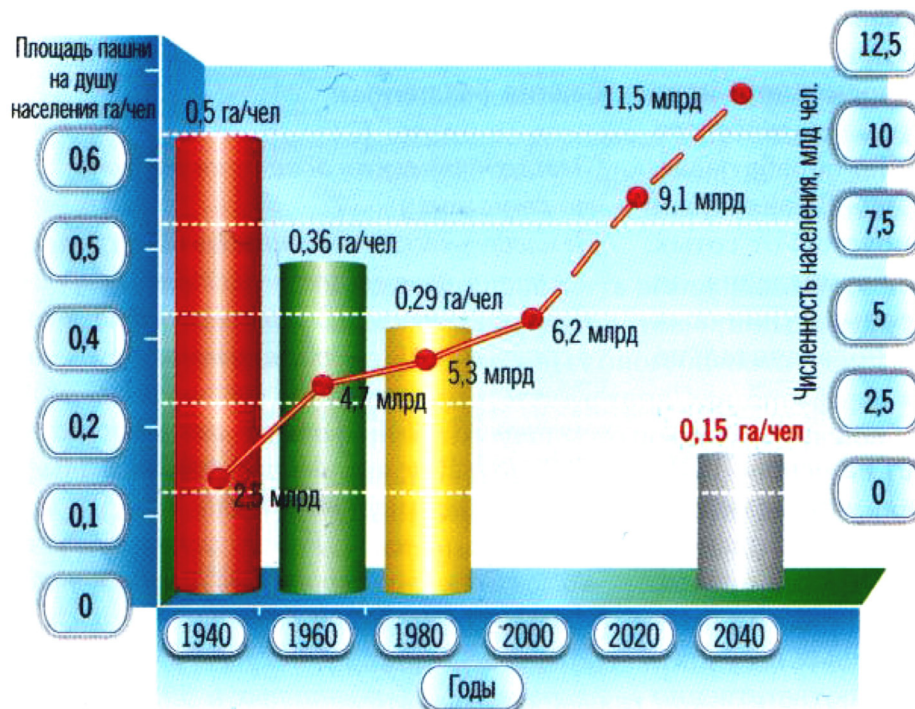


Рис. 26. Рост населения и снижение площади пахотных земель на человека [3]

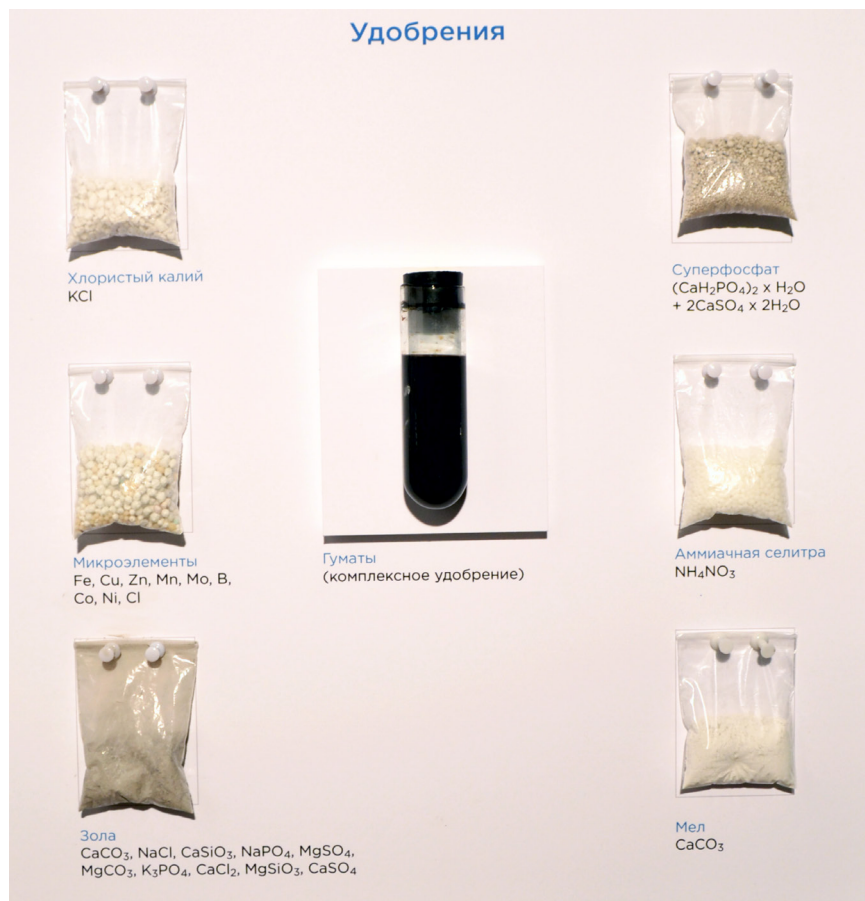


Рис. 27. Удобрения





Рис. 28. Функции почв [13]

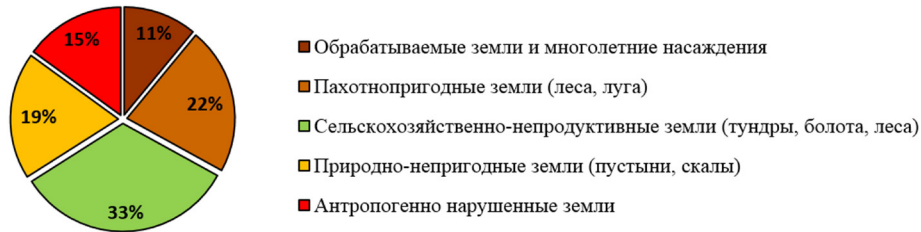


Рис. 29. Земельный фонд планеты [3]

Табл. 2

Потребность растений в химических элементах на разных стадиях развития [8]

Стадии роста	Необходимые микроэлементы
Прорастание семян и начало роста	Fe, Zn, Mn
Вегетативный рост	Fe, Zn, Mn, Cu, B
Цветение и завязывание плода	Fe, B
Плодоношение и подготовка к зиме	Cu, Mo, B

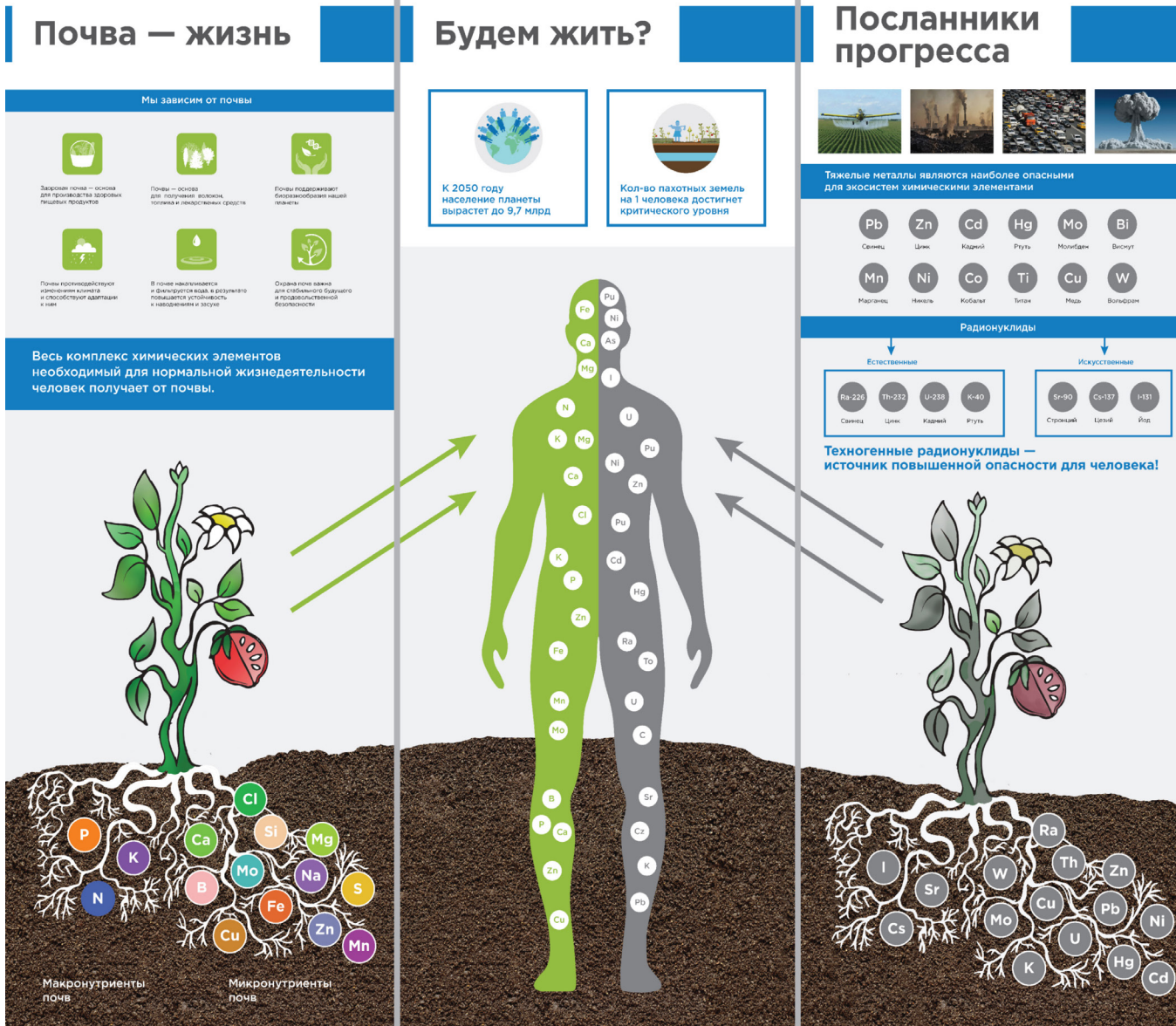


Рис. 30. Обращение к человеку: «Будем жить?»

Экспозиция завершается обращением к Человеку о необходимости сохранения почв как основы жизни на Земле. Благодаря своим уникальным свойствам почва выполняет множество различных функций (рис. 28) [14, 23, 24].

Еще в XVI веке значение почвы поэтическим языком выразил Уильям Шекспир.

*<Земля – праматерь всех живых пород —  
Их производит, их и погребет.  
Все, что на ней, весь мир ее зеленый  
Сосет ее, прирав к родному лону.  
Среди пород нет лишней и пустой,*

*Все с чем-нибудь, и все на свой покров.  
Какие поразительные силы  
Земля в камень и цветы вложила!  
На свете нет такого волокна,  
Которым не гордилась бы она,  
Как не отыщешь и такой основы,  
Где не было бы ничего дурного.  
Полезно все, что кстати, а не в срок  
Из блага превращается в порок.>*

Шекспир В. «Ромео и Джульетта».  
Перевод Б.И. Пастернака

В настоящее время на земле обрабатывается около 1,4 млрд га (11% суши). Пахотнопригодные почвы суши занимают только 22%. На сельскохозяйственные непродуктивные земли приходится 33%. Доля природно-непригодных для земледелия территорий составляет 19%. Доля антропогенно нарушенных земель составляет 15% суши (рис. 29), то есть больше, чем используется в земледелии [7].

Темпы потерь продуктивных земель неуклонно возрастают. Ежегодно теряется около 6 млн га пахотных земель. Резерв продуктивных земель в большинстве стран практически исчерпан. Помимо отчуждения пахотных земель стремительно теряются земли в результате роста городов и их инфраструктуры [7].

Особое значение в последние годы приобретает загрязнение почв. «Посланники прогресса»: тяжелые металлы и радионуклиды, основными источниками которых являются химизация сельского хозяйства, промышленность, транспорт, ядерная энергетика, –

попадают в почвы, поглощаются корневой системой растений и проникают в стебель, листья, цветы и плод. Защита почв от химической деградации необходима для стабильного будущего и обеспечения продовольственной и экологической безопасности населения.

Четвертый блок экспозиции посвящен человеку. Весь комплекс химических элементов, необходимый для нормальной жизнедеятельности, он получает из почвы. На рис. 30 на теле человека значки химических элементов приурочены к внутренним органам или тканям тела по принципу необходимости или наибольшего влияния на их функционирование. В левой половине тела представлены химические элементы, поглощаемые из здоровых пищевых продуктов, выращенных на чистой почве, в правой – тяжелые металлы и радионуклиды, поступившие из зараженной.

Человечество стоит перед выбором: «крепко стоять на ногах» на здоровой почве или балансировать на грани выживания.

## Литература

### Список русскоязычной литературы

1. Апарин БФ. Докучаевская парадигма естествознания. М.: ТРИЗ-Профи; 2006.
2. Апарин БФ. История человечества как кризис почвенных ресурсов. В кн.: Батурич В, ред. No-Till – шаг к идеальному земледелию. М.: ТРИЗ-Профи; 2007. С. 110-4.
3. Апарин БФ. Почвенный фонд Земли. В кн.: Батурич В, ред. No-Till – шаг к идеальному земледелию. М.: ТРИЗ-Профи; 2007. С. 114-8.
4. Апарин БФ. Ученик Менделеева, учитель Вернадского. ТРИЗ-Профи: эффективные решения. 2007:169-79. URL: <http://docplayer.ru/263799-Uchenik-mendeleeva-uchitel-vernadskogo.html>
5. Апарин БФ. Почвоведение. М.: Академия; 2012.
6. Апарин БФ. Почвообразование как особая форма движения материи. В кн.: Проблемы истории, методологии и социологии почвоведения. М.: КМК; 2017. С. 21-3.
7. Апарин БФ, Сухачева ЕЮ. Земледелие – прошлое, настоящее, будущее. Биосфера. 2019;11: 109-19.
8. Вавилов ПП, ред. Растениеводство. М.: Агропромиздат, 1986.
9. Волобуев ВР. Введение в энергетiku почвообразования. М.: Наука; 1974.
10. Воробьева ЛА, ред. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС; 2006.
11. Битюцкий НП. Минеральное питание растений. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2014.
12. Горбунов НИ. Минералогия и коллоидная химия почв. М.: Наука; 1974.
13. Добровольский ГВ, Никитин ЕД. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука; 1990.
14. Добровольский ГВ, Никитин ЕД. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ; 2012.
15. Докучаев ВВ. Сочинения: в 9 томах. М.: Изд-во АН СССР; 1949-1961.
16. Ковда ВА, Розанов БГ, ред. Почвоведение. Ч. 1. Почва и почвообразование. М.: Высшая школа; 1988.
17. Орлов ДС. Химия почв. М.: Изд-во МГУ; 1992.
18. Орлов ДС, Садовникова ЛК, Суханова НИ. Химия почв. М.: Высшая школа; 2005.
19. Смагин АВ. Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ; 2005.
20. Цех В. Почвы Мира. М.: Академия; 2007.
21. Чуков СН. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2001.
22. Шоба СА, ред. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель; 2011.

**Общий список литературы/Reference List**

1. Aparin BF. Dokuchayevskaia Paradigma Yestestvoznaniya. Moscow: TRIZ-Profi; 2006.
2. Aparin BF. [History of Humankind as Crisis of Soil Resources]. In: Baturin V, Ed. No-Till – Shag k Idealomu Zemledeliyu. Moscow: TRIUZ-Profi; 2007. P. 110-4. (In Russ.)
3. Aparin BF. [The Soil Fund of the Earth]. In: Baturin V, Ed. No-Till – Shag k Idealomu Zemledeliyu. Moscow: TRIUZ-Profi; 2007. P. 114-8. (In Russ.)
4. Aparin BF. Uchenik Mendeleeva, Uchitel Vernadskogo. TRIZ-Profi Effektivnye Resheniya 2007: 169-79. URL: <http://docplayer.ru/263799-Uchenik-mendeleeva-uchitel-vernadskogo.html> (In Russ.)
5. Aparin BF. Pochvovedeniye. Moscow: Akademiya; 2012. (In Russ.)
6. Aparin BF. [Soil formation as a particular mode of impermanence of the matter]. In: Problemy Istorii, Metodologii i Sotsiologii Pochvovedeniia. Moscow: KMK; 2017. P. 21-3. (In Russ.)
7. Aparin BF, Sukhacheva YeYu. [Husbandry: Its past, present and future]. Biosfera. 2019;11:109-19. (In Russ.)
8. Vavilov PP, ed. Rasteniyevodstvo. Moscow: Agropromizdat; 1986. (In Russ.)
9. Volobuyev VR. Vvedeniye v Energetiku Pochvoobrazovaniya. Moscow: Nauka; 1974. (In Russ.)
10. Vorobyeva LA, ed. Teoriya i Praktika Khimicheskogo Analiza Pochv. Moscow: GEOS; 2006. (In Russ.)
11. Bitiutskiy NP. Mineralnoye Pitaniye Rasteniy. Saint Petersburg: SPbGU; 2014. (In Russ.)
12. Gorbunov NI. Mineralogiya i Kolloidnaya Khimiya Pochv. Moscow: Nauka; 1974. (In Russ.)
13. Dobrovolskiy GV, Nikitin YeD. Funktsii Pochv v Viosfere i Ekosistemakh. Moscow: Nauka; 1990. (In Russ.)
14. Dobrovolskiy GV, Nikitin YeD. Ekologiya Pochv. Ucheniye ob Ekologicheskikh Funktsiyakh Pochv. Moscow: MGU; 2012. (In Russ.)
15. Dokuchaev VV. Sochineniya. Moscow: AN SSSR; 1949-1961. (In Russ.)
16. Kovda VA, Rozanov BG, eds. Pochvovedeniye. Chast 1. Pochva i Pochvoobrazovaniye. Moscow: Vysshaya Shkola; 1988. (In Russ.)
17. Orlov DS. Khimiya Pochv. Moscow: MGU; 1992. (In Russ.)
18. Orlov DS, Sadovnikova LK, Sukhanova NI. Khimiya Pochv. M.: Vysshaya Shkola; 2005. (In Russ.)
19. Smagin AV. Gazovaya Faza Pochv. M.: MGU; 2005. (In Russ.)
20. Tsekh V. Pochvy Mira. Moscow: Akademiya; 2007. (In Russ.)
21. Chukov SN. Strukturno-Funktsionalnye Parametry Organicheskogo Veshchestva Pochv v Usloviakh Antropogennogo Vozdeistviya. Saint Petersburg: SPbGU; 2001. (In Russ.)
22. Shoba SA, ed. Natsionalnyy Atlas Pochv Rossiiskoy Federatsii. Moscow: Astrel; 2011. (In Russ.)
23. Lal R, Horn R, Kosaki T, eds. Soil and Sustainable Development Goals. Stuttgart: Catena-Schweizerbart; 2018.
24. Lefèvre C, ed. Soil Organic Carbon: The Hidden Potential. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2017.

